

## **Багатоканальні іконічні системи дистанційного моніторингу**

*Микитенко В.І., Котовський В.Й., Богатирьова Г.В. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна*

### **Вступ**

Відомо [1], що приблизно до 95% інформації про навколишній світ людина отримує через зорову систему шляхом аналізу зображення, яке формується на сітчатці очей. Для розширення можливостей отримання візуальної інформації вже кілька десятиліть використовуються іконічні системи. Переважна більшість таких систем є оптико-електронними або оптичними, але разом з прогресом технічних засобів аналізу просторів об'єктів і відображення візуальної інформації з'явилися нові системи, до складу яких входять неоптичні канали. Відповідно, змінюються методи вирішення однієї з найважливіших проблем приладобудування - підвищення ефективності функціонування іконічних систем. Якщо раніше головними обмеженнями в досягненні максимальних показників якості таких систем були недостатньо високі технічні параметри окремих блоків (особливо – чутників), то в останні роки на перший план виходить більш повне використання потенційно доступної для оператора інформації з різних каналів. До складу сучасних іконічних систем дистанційного моніторингу можуть входити кілька підсистем, які формують візуальні зображення не тільки шляхом аналізу електромагнітного випромінювання в різних спектральних оптичних піддіапазонах, але й в радіодіапазоні або ж аналізуючи сигнали зовсім іншої природи. Наразі підвищення ефективності сучасних іконічних систем здійснюється в напрямку створення багатоканальних систем. Візуалізація простору об'єктів розглядається в рамках єдиного інформаційного процесу [2], суб'єктами якого є людина-спостерігач та іконічна система, а об'єктом – навколишнє середовище. Багато наукових публікацій присвячені розробці технічних засобів спостереження в космосі, на Землі та інших планетах, під водою тощо. Розглядаються також і багатоканальні іконічні системи (БКІС). Але ці роботи направлені на вирішення задач у конкретних галузях. Для оцінки загальних тенденцій розвитку БКІС доцільно було б провести аналіз технічних рішень, що використовуються або можуть бути використані як окремі інформаційні канали в системі, а також приклади поєднання цих каналів.

### **Галузі використання БКІС**

Величезне різноманіття вирішуваних з допомогою БКІС прикладних і наукових завдань нереально в повній мірі оцінити в журнальній статті. Тому розглянемо тільки основні галузі, в яких ці системи використовуються широко. До таких галузей відносяться:

1. Дистанційне зондування Землі з космосу та з повітря;
2. Спостереження в військових цілях;
3. Спостереження для охорони територій;
4. Дистанційна діагностика стану будівель, енергетичного обладнання тощо;
5. Медична функціональна діагностика і контроль;
6. Спостереження позаземних об'єктів.

***Дистанційне зондування Землі з космосу та з повітря.*** Перший з перерахованих напрямків є найбільшим. Велика кількість задач, що вирішуються в рамках дистанційного зондування Землі з космосу та з повітря, безперервне розширення складу і покращення інформаційних характеристик бортових БКІС при одночасному їх вдосконаленні і здешевленні, розвиток нових технологій інтерпретації авіакосмічних даних, дають всі підстави прогнозувати, що в найближчі 15-20 років космічні та авіаційні БКІС стануть найбільш пріоритетним і ефективним класом корисного навантаження цивільного призначення. Серед найпоширеніших задач, які виконуються авіаційними і космічними БКІС такі:

- прогнозування клімату, дослідження кліматичних змін (вимірювання альbedo Землі, вмісту малих газових компонентів атмосфери, атмосферного аерозолі, варіацій сонячного випромінювання тощо);
- прогнозування погоди (високоперіодичне отримання в глобальному масштабі даних про хмарний і сніжно-льодовий покриви, тривимірних полів температури і розподілу вологості атмосфери, тривимірних полів вітрів, розподілу температури і інших фізико-хімічних параметрів поверхні Землі);
- оцінка і прогноз стану сільськогосподарських культур, пасовищ, лісів, ґрунтів, внутрішніх водоймищ і сніжного покриву;
- інформаційне забезпечення господарської діяльності в провідних галузях економіки, пов'язаних з використанням і переробкою поновлюваних і неоновлюваних природних ресурсів, включаючи сільське, рибне, лісове, водне господарство, геологію і розробку родовищ корисних копалин;
- стереофотограмметрія, складання топографічних карт, цифрових карт геоінформаційних систем, карт сейсмічності і геологічних ризиків, карт лісових масивів, сільгоспугідь, інших карт тематичного призначення;
- інформаційне забезпечення діяльності по землеустрою, прокладці транспортних магістралей, будівництву промислових об'єктів і містобудуванню, складанню кадастрів земляних і інших природних ресурсів;
- океанографія і океанологія (зондування водних поверхонь з метою визначення їх температури, солоності, кольоровості, прозорості, біопродуктивності, забруднень, течій, льодової обстановки, приводного вітру, а також вивчення шельфу);
- стеження за льодовим покривом в полярних областях для забезпечення судноплавства;

- контроль і прогноз розвитку циклонів, ураганів, цунамі, забезпечення безпеки господарської діяльності в тайфунонебезпечних районах;
- екологічний моніторинг на глобальному, регіональному і локальному рівнях за розповсюдженням забруднень у всіх трьох основних природних сферах (атмосфера, поверхня суші, водне середовище), розвитком ерозійних та інших процесів деградації природного середовища; виявлення фактів і локалізація великих промислових і інших джерел забруднення навколишнього середовища; контроль трансграничного перенесення забруднень; екологічний моніторинг районів видобутку корисних копалин, транспортування вуглеводневого палива та небезпечних хімічних продуктів, найбільших скупчень промислових підприємств і мегаполісів;
- моніторинг надзвичайних ситуацій, включаючи виявлення факту надзвичайних ситуацій, оцінку масштабів і характеру руйнувань; прогнозування землетрусів і інших руйнівних природних явищ; сповіщення про цунамі, повені, селі, хімічне і інше зараження місцевості, лісові пожежі, великі розливах нафтопродуктів тощо.

***Спостереження в військових цілях, спостереження для охорони територій.*** Ці два напрямки відрізняються масштабами інформаційних потоків, типами носіїв, специфічними технічними вимогами до БКІС тощо. Але споріднює їх однотипність глобальних виконуваних задач, а саме: пошук та виявлення об'єкту на фоні; розпізнавання об'єкту. Простір предметів має невизначені і випадкові просторові та часові характеристики, а отже - формує випадкове поле спектральної енергетичної світності оптичного діапазону спектру або випадкові просторові розподіли інших фізичних полів. З певною вірогідністю в ньому може знаходитися випромінюючий чи відбиваючий об'єкт, що становить певний інтерес в контексті вирішуваної пошукової задачі [3]. БКІС повинна допомогти відповісти на питання, чи є в полі зору сигнал разом з завадою або тільки завада. Тобто задача виявлення об'єкту еквівалентна задачі виявлення корисного сигналу на фоні завад. Розпізнавання об'єкту можна охарактеризувати кількома ступенями, які в цілому визначають можливість достовірного віднесення об'єкту до відомого вузького класу [4,5].

***Дистанційна діагностика стану будівель, енергетичного обладнання.*** Ці напрямки, хоч і відрізняються суттєво один від одного за зовнішніми ознаками і місцем застосування, мають дуже схоже внутрішнє наповнення. Основні задачі, що вирішуються тут є тотожними до перелічених у попередньому абзаці: пошук та виявлення, розпізнавання об'єкту. Основними відмінностями є значно вужчі класи потенційних об'єктів і часто наявність апріорної інформації про можливе їх місцезнаходження (спрощена задача пошуку).

#### ***Медична функціональна діагностика і контроль.***

Такі ж методи можна застосовувати до зондування біологічних об'єктів для одержання повної картини фізичних полів, які генеруються цими об'єктами.

Розподіл таких полів у просторі й зміна в часі несуть важливу біологічну інформацію, яку можна використовувати з метою медичної діагностики.

Вимірюючи відносно слабкі випромінювання біологічних об'єктів у широкому діапазоні різних фізичних полів, можна робити висновки про температуру, діелектричну проникність не тільки на поверхні, але й усередині живого організму.

Інформація з різних каналів взаємно доповнюється й дозволяє різнобічно охарактеризувати біологічний об'єкт у рамках відносно нескладних розрахункових моделей, що обумовлено невеликим алфавітом потенційних об'єктів.

**Спостереження позаземних об'єктів.** Даний напрямок відноситься до галузі астрономічних наук. Від інших він відрізняється великою вартістю і унікальністю кожного технічного рішення. Семантика вихідних зображень в цьому випадку набагато простіша, ніж в вищезгаданих. Тому тут можна реалізовувати БКІС з нескладними алгоритмами комплексування каналів.

Рішення будь-якої з названих задач в кожному з розглянутих напрямів передбачає адекватний добір відповідних чутників, які формують окремі інформаційні канали БКІС.

### **Окремі інформаційні канали БКІС**

Донедавна під іконічними системами розуміли тільки оптико-електронні або оптичні системи. Це було обумовлено переважно двома причинами: - низькою просторовою роздільною здатністю інших типів чутників; - відносно низькими вимогами до інформативності вихідного зображення і поганою розвиненістю технічних та програмних засобів обробки вхідних сигналів. Зараз ситуація докорінно змінилась. На тлі дедалі жорсткіших вимог до якості прийняття рішень оператором БКІС з'явилися нові типи чутників з великою роздільною здатністю (наприклад, радіолокатори з синтезованою апертурою і просторовим розділенням 1 м з низьких космічних орбіт); вчені створили ефективні математичні апарати, що дозволяють аналізувати величезні обсяги інформації і формувати на виході візуальні зображення; сучасні комп'ютери здатні виконувати майже в реальному масштабі часу розроблені математичні алгоритми. Крім того, інтенсивні роботи в галузі обчислювальної техніки, кібернетики, штучного інтелекту тощо привели розробників до розуміння, що зображення в полі зору оператора зовсім не обов'язково має бути максимально схожим на доступний йому в повсякденні оптичний образ простору предметів. Основною вимогою наразі стала максимальна ефективність функціонування системи «БКІС – оператор» в заданих умовах. Виходячи з цього окремим інформаційним каналом БКІС може бути будь-який пристрій, який може впливати на якість вихідного візуального зображення (формулювання поняття «якість» є окремим науковим напрямком, який в даній статті ми не розглядаємо).

Аналіз окремих інформаційних каналів БКІС доцільно здійснювати за ознакою фізичного поля, вимірювання якого відображає стан простору об'єктів. В таблиці 1 наведені типи фізичних полів формування вхідних сигналів і відповідних чутників БКІС.

Таблиця 1. Можливі типи чутників БКІС

п/п	Тип чутника	Формат вихідного сигналу
<i>Електромагнітне поле оптичного діапазону</i>		
	Монокулярні візуальні канали	Двовимірний оптичний
	Бінокулярні візуальні канали	Дво/тривимірний оптичний
	Електронно-оптичні перетворювачі	Двовимірний оптичний
	Пасивні телевізійні системи видимого діапазону спектру	Електричний / двовимірний оптичний
	Телевізійні системи видимого діапазону спектру з постійним підсвічуванням	Електричний / двовимірний оптичний
	Телевізійні системи видимого діапазону спектру з імпульсним підсвічуванням	Електричний / двовимірний / тривимірний оптичний
	Пасивні телевізійні системи ультрафіолетового діапазону спектру	
	Низькорівневі телевізійні системи	Електричний / двовимірний оптичний
	Пасивні тепловізійні системи	Електричний / двовимірний оптичний
	Активні тепловізійні системи з постійним підсвічуванням	Електричний / двовимірний оптичний
	Активні тепловізійні системи з імпульсним підсвічуванням	Електричний / двовимірний / тривимірний оптичний
	Лазерні скануючі далекомірні системи	Електричний / двовимірний / тривимірний оптичний
	Відеоспектрометри	Електричний / двовимірний багатодіапазонний оптичний
	Відеополяриметри	Електричний / двовимірний оптичний
	Гамма-квантові діагностичні системи	Електричний / двовимірний / тривимірний оптичний
	Рентгенівські діагностичні системи	Електричний / двовимірний / тривимірний оптичний
<i>Електромагнітне поле радіо діапазону</i>		
	Радіолокаційні системи з синтезованою	Електричний /

	апертурою	двовимірний оптичний
	Пасивні мікрохвильові багатоканальні радіометри	Електричний / двовимірний оптичний
<i>Акустичне поле</i>		
	Ультразвукові локатори	Електричний / двовимірний / тривимірний оптичний
	Пасивні акустичні чутники	Електричний
<i>Радіаційне поле</i>		
	Пасивні координатні радіаційні чутники	Електричний / двовимірний оптичний
	Радіаційні томографи (нейтронні, позитронні тощо)	Електричний / двовимірний / тривимірний оптичний
<i>Магнітне поле</i>		
	Магніто-резонансні томографи	Електричний / двовимірний / тривимірний оптичний

Хоч, як видно з таблиці, основним видом інформаційного сигналу є електромагнітне поле, не виключено, що в майбутньому з'являться нові типи чутників, які можна буде використовувати в складі БКІС. Наприклад, гравіметри є поки що інтегральними чутниками, але можливо з часом їх просторова роздільна здатність стане достатньою для створення зображень.

### Приклади реалізації БКІС

Інформативність зображення в БКІС залежить від кількості робочих спектральних діапазонів або фізичних полів, в рамках яких збираються дані про простір об'єктів. Дуже важливим є питання про кількість інформаційних каналів, необхідну для надійного розпізнавання зображення оператором. З теорії розпізнавання образів відомо, що при зростанні числа спектральних каналів, точність розпізнавання зростає лише до певного моменту, а потім, при подальшому збільшенні цього числа, вона падає [6]. Це пояснюється тим, що при збільшенні числа інформаційних каналів необхідна оцінка множини статистик все більш високої розмірності по обмеженому фіксованому числу вибірок. При цьому помітно ускладнюється система обробки даних в реальній системі, наприклад, значно збільшується машинний час, необхідний для проведення складних обчислень. Таким чином, існує оптимальна кількість спектральних ознак. Наприклад, при дистанційному зондуванні природних ресурсів було встановлено, що максимум вірогідності розпізнавання по спектральних ознаках досягається при трьох релевантних ознаках. Ймовірність розпізнавання при використанні більшого числа ознак істотно менше [6].

В таблиці 2 наведені приклади інформаційних каналів деяких БКІС [7,8,9,10].

Таблиця 2. Типи чутників для вирішення деяких задач дистанційного моніторингу

Задача дистанційного моніторингу	Типи чутників / інформаційних каналів
Метеорологічні спостереження: температурний профіль атмосфери	Пасивні мікрохвильові чутники, тіньові радіо GPS-чутники, тепловізійні системи високого просторового розділення
Метеорологічні спостереження: атмосферний профіль вологості	Пасивні мікрохвильові чутники, пасивні телевізійні системи ультрафіолетового та видимого діапазонів, тепловізійні системи середнього інфрачервоного діапазону
Моніторинг озонowego шару	Пасивні телевізійні системи ультрафіолетового та видимого діапазонів, тепловізійні системи, мікрохвильові чутники
Моніторинг аерозолів, визначення метеорологічної дальності бачення	Телевізійні системи видимого діапазону, тепловізійні системи близького та середнього інфрачервоних діапазонів
Визначення вмісту парникових газів ( $\text{CO}_2$ , $\text{CH}_4$ ) в атмосфері	Тепловізійні системи
Визначення розподілу вітрів	Телевізійні системи видимого діапазону, тепловізійні системи, доплерівські лазерні вимірювачі швидкості
Визначення рівня океану, стану його поверхні	Лазерні висотоміри, скатерометри
Визначення температури суші та океану	Тепловізійні системи, мікрохвильові чутники
Визначення забарвлення океану, концентрації хлорофілу	Відеоспектрметри
Моніторинг та картографування озер	Телевізійні системи видимого діапазону, тепловізійні системи близького інфрачервоного діапазону, радіолокатори з синтезованою апертурою, висотоміри
Моніторинг льодовиків і льодового покриву	Телевізійні системи видимого діапазону, тепловізійні системи близького та середнього інфрачервоних діапазонів високого розділення, висотоміри
Моніторинг снігових покривів	Телевізійні системи видимого діапазону, тепловізійні системи близького та середнього інфрачервоних діапазонів середнього розділення, пасивні мікрохвильові чутники
Визначення альbedo земних поверхонь	Панхроматичні та багатоканальні телевізійні системи видимого діапазону, відеоспектрметри
Глобальний моніторинг земної біомаси	L / R полосні радіолокатори з синтезованою апертурою, лазерні висотоміри
Моніторинг вологості ґрунту (до 100 мм глибини)	Активні та пасивні мікрохвильові чутники
Оглядові системи військового призначення	Телевізійні системи видимого діапазону, тепловізійні системи близького, середнього та довгохвильового інфрачервоних діапазонів, низькорівневі телевізійні системи

Прицільно-оглядові системи військового призначення	Телевізійні системи видимого діапазону, тепловізійні системи, лазерний цілевказівник
Медична діагностика пухлин, маммографія	Телевізійні системи видимого діапазону, довгохвильові тепловізійні системи
Спостереження навколишнього простору самохідними роботизованими пристроями	Лазерні скануючі далекомірні системи, тепловізійні системи видимого діапазону
Картографування	Панхроматичні та багатоканальні тепловізійні системи видимого діапазону, радіолокатори з синтезованою апертурою, координатні чутники (інерціальні, GPS)
Стереофотограмметрія	Панхроматичні та багатоканальні тепловізійні системи видимого діапазону, лазерні далекоміри
Огляд транспортних засобів службами безпеки	Телевізійні системи видимого діапазону, тепловізійні системи, лазерні скануючі далекомірні системи, чутники гамма-хвиль та нейтронів

Вихідним сигналом майже всіх БКІС, що наведені в табл.2, є двовірне зображення на одному моніторі. Це зображення аналізується оператором шляхом виявлення в ньому релевантних (важливих для заданої задачі) ознак з метою діагностування стану окремих об'єктів чи всього простору об'єктів. Найголовнішою задачею процесу комплексування є об'єднання різних інформаційних потоків для одержання нової інформації про досліджуваний об'єкт, яка не є доступною в кожному окремому каналі. В цьому сенсі роботу окремих каналів можна уявити як перенос інформації від об'єкта до оператора, а функція самої БКІС полягає в формуванні оптимальної конфігурації інформаційного каналу. Для цього необхідно мати ефективний механізм комплексування каналів [9]. Такий механізм є інтерфейсом між простором об'єктів, окремими інформаційними каналами БКІС, змістом поточного завдання і зовнішніх умов його виконання, оператором [11]. Тому крім дослідження кожної з наведених складових інформаційного процесу, актуальними напрямками в галузі іконічних систем дистанційного зондування є саме створення механізмів комплексування каналів.

## Висновки

Останніми роками ведуться численні розробки багатоканальних іконічних систем. Глобальною тенденцією в цій галузі є об'єднання принципово різних чутників в одну інформаційну систему. Дослідження принципів побудови таких систем, створення алгоритмів комплексування окремих інформаційних каналів наразі є одними з основних напрямків розвитку сучасного оптико-електронного приладобудування.

## Література



1. Левшин В.Л. Биокбернетические оптико-электронные устройства автоматического распознавания изображений.-М.: Машиностроение, 1987.
2. Мирошников М.М., Нестерук В.Ф. Информационные аспекты иконики / оптический журнал, 1993, №12. – С. 72-81.
3. Микитенко В.І. Дослідження релевантних ознак зображень в ОЕП телевізійного типу / Вісник НТУУ “КПІ”. Серія приладобудування.- 2006. – Вип. 31. – С. 24 - 31.
4. Глезер В.Д. Зрение и мышление // СПб.: Наука, 1993. – 283 с.
5. Котовський В.Й. Тепловізійні прилади і бойова техніка / Вісті академії інженерних наук України – 2006 – № 2 (29) – с. 22 – 25.
6. Дейвис Ш.М., Ландгребе Д.А., Филипс Т.Л. та ін. Під ред. Свейна Ф. і Дейвиса Ш. Дистанційне зондування: кількісний підхід / Пер. з англ. - М.: Надра, 1983.
7. Концепция развития российской космической системы дистанционного зондирования Земли на период до 2025 года / [http://www.gisa.ru/concept\\_drs.html](http://www.gisa.ru/concept_drs.html)
8. Systematic Observation Requirements for Satellite-based Products for Climate, September 2006 / [http://gosic.org/ios/GCOS\\_main\\_page.htm](http://gosic.org/ios/GCOS_main_page.htm)
9. Schuler J. Image Registration Techniques for Image Fusion / [www.logostech.net/imagefusion2005/MasterClass\\_Image\\_Registration.pdf](http://www.logostech.net/imagefusion2005/MasterClass_Image_Registration.pdf)
10. Chen C. H., Cheng C., Page D., Koschan A., Abidi M. Modular Robotics and Intelligent Imaging for Unmanned Systems / Proc. SPIE Unmanned Systems Technology VIII. April 2006.- Vol. 6230.- Pp. 43-52.
11. Микитенко В.І. Комплексування інформації в оглядово-візирних системах керованих рухомих об’єктів / Вісник НТУУ “КПІ”. Серія приладобудування.- 2005. – Вип. 30. – С. 36 - 41.